第10講　進化の仕組み

【1】　進化について以下の問題に答えよ。

Ⅰ　現代進化論では，生物集団における遺伝子頻度の変化として進化を考える。いま，ある生物において，次の図１に示すような進化が起きたと仮定する。

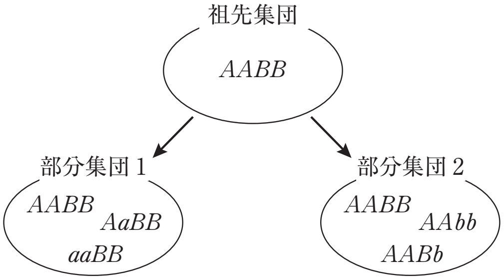


図１　ある生物種における進化過程

この過程で，祖先集団は遺伝子型$AABB$のみからなり，それが２つの部分集団に隔離された。そして，それぞれの部分集団において異なる遺伝子に突然変異が生じ，部分集団１では対立遺伝子Aとaが共存(それぞれの遺伝子頻度を0.4と0.6とする)し，部分集団２では対立遺伝子Bとbが共存(それぞれの遺伝子頻度を0.6と0.4とする)するようになった。なお，以下の設問では，２つの部分集団および混合群(後述)において，それぞれの対立遺伝子についてハーディ・ワインベルグの法則が成り立つものとする。

問１　部分集団１と部分集団２から同数の個体をランダムに選び出して混合群をつくり，交配させることを考える。

⑴　混合群における対立遺伝子Aおよびaの遺伝子頻度を求めよ。

⑵　混合群から生じる次世代(第一世代)において，遺伝子型$aabb$の個体が占める割合[％]を求めよ。ただし，２対の対立遺伝子は互いに独立であるものとする。

⑶　⑵の第一世代から生じる世代(第二世代)において，遺伝子型$aabb$の個体が占める割合[％]を求めよ。

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

問２　問１とは異なり，２対の対立遺伝子が連鎖している場合を考えると，１本の染色体上に存在する対立遺伝子の組み合わせは，部分集団１ではAとB，aとBの２種類であり，それぞれの組み合わせの頻度は，0.4と0.6となる。一方，部分集団２ではAとB，Aとbの２種類の組み合わせがあり，それぞれの頻度は0.6と0.4となる。２つの部分集団から同数の個体をランダムに選び出して混合群をつくり交配させた場合，第二世代において遺伝子型$AABB$の個体が占める割合［％］を求めよ。ただし，２対の対立遺伝子は完全に連鎖しているものとする。

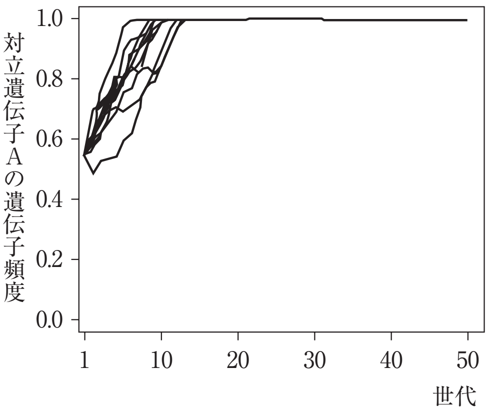
Ⅱ　遺伝的浮動と自然選択がハーディ・ワインベルグの法則に与える影響を明らかにするため，簡単なシミュレーションをおこなった。遺伝的浮動は集団サイズに関係するため，集団内から生じた配偶子の数(N)として，10個の場合(N＝10)と100個の場合(N＝100)の２通りを考えた。自然選択(S)はある対立遺伝子が次の世代に引き継がれる確率を変化させるため，自然選択が全くはたらかない場合，つまりどの対立遺伝子も同じ確率で次世代に引き継がれる場合(S＝0.0)と，ある対立遺伝子が他の対立遺伝子よりも５％次世代に引き継がれやすい場合(S＝0.05)の２通りを考えた。

集団のある遺伝子には対立遺伝子Aと対立遺伝子Bが存在し，初期状態(ゼロ世代目)の遺伝子頻度はいずれも0.5とした。この初期状態から，コンピュータによって対立遺伝子をランダム(S＝0.0)もしくは対立遺伝子Aを対立遺伝子Bより5％高い確率(S＝0.05)で，10個(N＝10の場合)もしくは100個(N＝100の場合)選び，次の世代とした。この計算を50回連続しておこなうことで，50世代後までの各世代における対立遺伝子Aの遺伝子頻度を算出した。以上が1回のシミュレーションであり，N＝10または100，S＝0.0または0.05の設定(4通り)で，それぞれ10回ずつシミュレーションした結果が，図Ⅰ～図Ⅳのいずれかに示してある。言い換えると，図Ⅰ～図Ⅳにはそれぞれ10本の線があり，1本の線が1回のシミュレーション結果に相当する。ここで，対立遺伝子Aの遺伝子頻度が1.0になることを，対立遺伝子Aが集団内に固定された(対立遺伝子Bが集団から消失した)と言う。

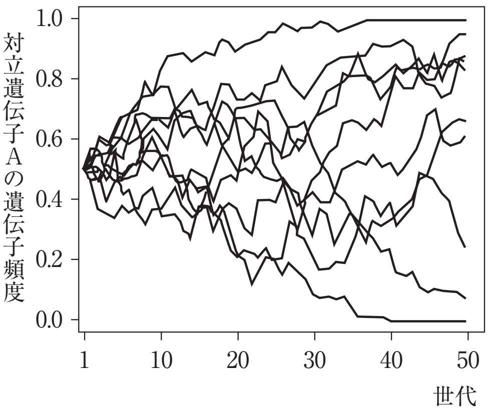
ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

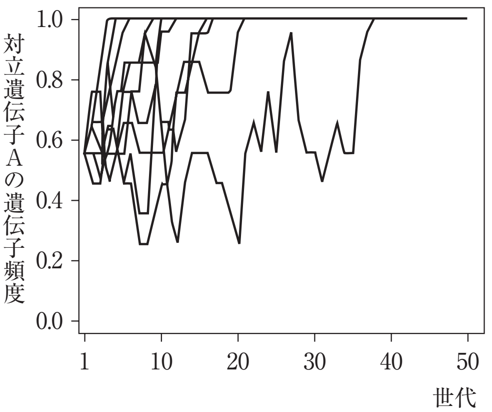
図Ⅰ



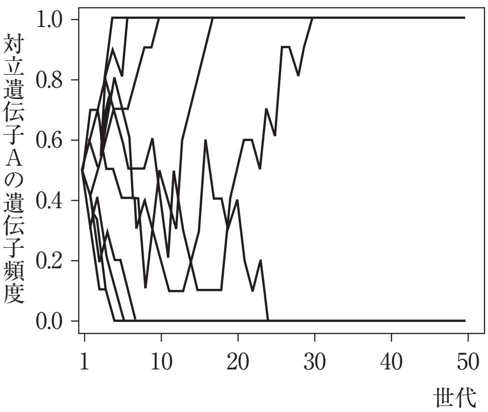
図Ⅱ



図Ⅲ



図Ⅳ



問３　N＝10，S＝0.05のシミュレーション結果としてもっとも適切なものを次の①～④の中から一つ選べ。

①　図Ⅰ　　②　図Ⅱ　　③　図Ⅲ　　④　図Ⅳ

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

問４　図から読み取れる結果としてもっとも適切なものを次の①～⑥の中から一つ選べ。

① N＝10，S＝0.0の場合，集団内に対立遺伝子Aが固定される確率は，N＝100，S＝0.05の場合よりも高い。

② N＝10，S＝0.05の場合，N＝100，S＝0.0の場合よりも短い世代で集団内に対立遺伝子Aが固定される。

③ N＝100，S＝0.0の場合，50世代経つと，集団内の対立遺伝子はAまたはBのどちらか一方に固定される。

④ N＝100，S＝0.05の場合，30世代経つと，集団の対立遺伝子はかならずBに固定される。

⑤ S＝0.0の場合，N＝10よりもN＝100の方が，対立遺伝子Aは集団内に固定しやすい。

⑥ S＝0.05の場合，N＝100よりもN＝10の方が，対立遺伝子Aは集団内に固定しやすい。

問５　S＝0.0でNを無限大にしたとき，どのような結果が得られると考えられるか。対立遺伝子Aの遺伝子頻度に対する説明としてもっとも適切なものを次の①～④の中から一つ選べ。

① 世代毎の変動はなく，シミュレーション毎でも結果は変わらない。

② 世代毎の変動はないが，シミュレーション毎に結果が大きく異なる。

③ 世代毎に大きく変動するが，シミュレーション毎の結果は変わらない。

④ 世代毎に大きく変動し，シミュレーション毎でも結果が大きく異なる。

問６　図Ⅰにおいて，ある条件を変化させると，対立遺伝子Aが集団内に固定するまでの平均世代数が増加した。変化させた条件としてもっとも適切なものを次の①～⑤の中から一つ選べ。

① S＝0.1にした。　　② S＝0.01にした。

③ N＝200にした。　　④ Nを無限大にした。

⑤ 初期状態(ゼロ世代目)における対立遺伝子Aの遺伝子頻度を0.8にした。

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

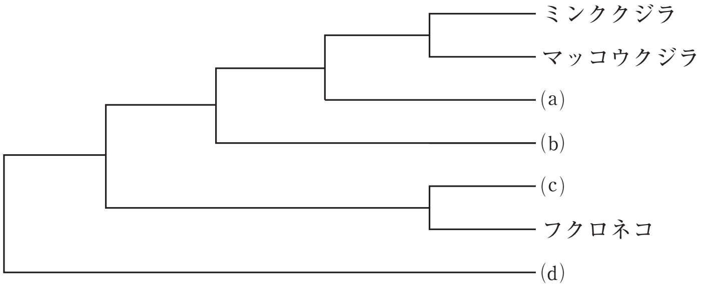
【2】　進化の過程で，アミノ酸の置換が累積している場合がある。例えば，脊椎動物のもつヘモグロビンα鎖のアミノ酸配列をヒトとゴリラで比較すると，異なるアミノ酸は1個しかないが，ヒトとサメで比較すると79個ある。アミノ酸の置換は，一定の速さで時を刻む時計のように，一定の速度で進むことから分子時計という考え方が生まれた。分子時計によれば，一般に，共通祖先より分岐してから長い時間が経過している生物間ほど，異なるアミノ酸の数が大きくなる傾向がある。

7種の哺乳類について，ヘモグロビンα鎖のアミノ酸配列を比較したときの異なるアミノ酸の数を表1に，表1をもとにして作成した分子系統樹を図1に，ヘモグロビンα鎖のアミノ酸配列の一部を図2に示した。

表1

	ミンククジラ	マッコウクジラ	カモノハシ	カバ	イエネコ	オオカンガルー	フクロネコ
ミンククジラ							
マッコウクジラ	18						
カモノハシ	45	46					
カバ	26	21	41				
イエネコ	31	35	43	24			
オオカンガルー	39	36	46	28	30		
フクロネコ	42	35	46	32	35	22	

図1



ヘモグロビンα鎖のアミノ酸の位置

	23	56	83	84	85	86	87	88
ミンククジラ	Glu	Lys	Leu	Ser	Asp	Leu	His	Ala
マッコウクジラ	Asp	Lys	Leu	Ser	Asp	Leu	His	Ala
(a)	Glu	Lys	Leu	Ser	Asp	Leu	His	Ala
(b)	Glu	Lys	Leu	Ser	Asp	Leu	His	Ala
(c)	Glu	Glu	Leu	Ser	Asp	Leu	His	Ala
フクロネコ	Ala	Glu	Leu	Ser	Asp	Leu	His	Ala
(d)	Glu	Lys	Leu	Ser	Asp	Leu	His	Ala

図2　(a)～(d)は図1の(a)～(d)と同じ生物である。

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

問１　図１の(a)，(c)に入る生物名として最も適するものを，①～④の中から１つずつ選べ。
① カモノハシ　② イエネコ　③ オオカンガルー
④ カ　バ

問２　ヘモグロビンα鎖のアミノ酸は約600万年で１個の割合で置換する。ミンククジラとマッコウクジラの系統が分岐したのは約何年前か。また，クジラの共通祖先とクジラに最も近かった哺乳類(図1(a))が分岐したのは約何年前か。それぞれに最も適するものを，①～⑧の中から１つずつ選べ。
ミンククジラとマッコウクジラの系統の分岐：
クジラの共通祖先とクジラに最も近かった哺乳類の分岐：
① 2700万年　② 5400万年　③ 6600万年　④ 7050万年
⑤ 7200万年　⑥ 7800万年　⑦ 9900万年　⑧ 13650万年

問３　ヘモグロビンα鎖の分子進化について，図１，図２から考察した。考察として**適さない**ものはどれか。最も適するものを，①～⑤の中から１つ選べ。
① 有袋類と真獣類(有胎盤類)の分岐点となった共通祖先の第23番目のアミノ酸はGluである。
② 有袋類と真獣類(有胎盤類)の分岐点となった共通祖先の第56番目のアミノ酸はGluである。
③ クジラの共通祖先と図1(a)の分岐点となった共通祖先の第23番目のアミノ酸はGluである。
④ クジラの共通祖先と図1(a)の分岐点となった共通祖先の第56番目のアミノ酸はLysである。
⑤ 第83番目から第88番目の領域のアミノ酸は，ヘモグロビンの機能に重要なはたらきをしている。

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

問4　アミノ酸置換を引き起こしたDNA塩基配列の変化を推定し，図3に示した。mRNAに相補的なDNA鎖について，表2の遺伝暗号表(mRNAのコドンに対応するアミノ酸の種類を示した)を用いて，図中の(あ)，(う)に最も適する塩基配列を，①～⑨の中から1つずつ選べ。なお,1つのアミノ酸の置換はコドン中の1つの塩基置換で生じたものとする。

Glu	→	Gly	→	Ala	→	Pro
(あ)		(い)		(う)		(GGC*)

図3

*：mRNAに相補的なDNA鎖について，コドンの塩基の並び順通りに，対になる塩基を記した。

表2

CCU		GCU		GGU		GAA	Glu
CCC	Pro	GCC	Ala	GGC	Gly	GAG	グルタミン酸
CCA	プロリン	GCA	アラニン	GGA	グリシン		
CCG		GCG		GGG			

①　GGG　②　GGA　③　GAG　④　CGC　⑤　GGT
⑥　CGT　⑦　CTC　⑧　CTT　⑨　CCC

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第10講　確認テスト

（文1）

現在の地球上には，報告されているだけでもおよそ3000種類以上のショウジョウバエが生息している。日本ではこのうちおよそ250種類以上の生息が確認されている。

それぞれのショウジョウバエには，国際規約により定められた命名方法に従って学名がつけられている。例えば，キイロショウジョウバエには*Drosophila melanogaster*という学名がつけられている。このうち*Drosophila*の部分を分類学的に［あ］と呼び，*melanogaster*の部分を［い］とよぶ。このように2つのラテン語の組み合せにより生物の名前を表す方法を［う］という。この方法は1753年に「分類学の父」といわれるスウェーデン人の［え］によって確立された。

さらに［え］は上位の分類階級を設定して生物界の体系化を試みている。キイロショウジョウバエの分類学的位置は動物［お］，節足動物［か］，昆虫［き］，ハエ(双翅)［く］，ショウジョウバエ科となる。

生物間の系統類縁関係を推定する方法は多様であり，体制，生殖法，発生様式，生活様式，塩基配列などの比較により推定できる。<u>ショウジョウバエは三胚葉性の旧口動物であり，真体腔をもつ節足動物の仲間に分類される</u>。

〔1〕 文章中の［あ］～［く］にあてはまる語句を答えよ。

〔2〕 文章中の下線部に関連して，旧口動物および真体腔を説明した記述として正しいものを下の選択肢の中から1つ選べ。

① 動脈と静脈が毛細血管でつながっておらず，体液が組織のすきまを流れるものを旧口動物といい，中胚葉性の上皮細胞で囲まれて体腔になったものを真体腔という。

② 動脈と静脈が毛細血管でつながり，血しょうを除く大部分の血液成分が血管外に浸出しないものを旧口動物といい，いろいろな胚葉由来の細胞で囲まれて体腔になったものを真体腔という。

③ 胚の原口がそのまま成体の口になるものを旧口動物といい，胚の胞胚腔がそのまま体腔になったものを真体腔という。

④ 胚の原口がそのまま成体の口になるものを旧口動物といい，胚の胞胚腔でない空所が新たに生じて体腔になったものを真体腔という。

⑤ 胚の原口またはその付近に肛門が形成され，その反対側に口が形成されるものを旧口動物といい，胚の胞胚腔がそのまま体腔になったものを真体腔という。

⑥ 胚の原口またはその付近に肛門が形成され，その反対側に口が形成されるものを旧口動物といい，胚の胞胚腔でない空所が新たに生じて体腔になったものを真体腔という。

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

（文 2）

生物の種を一意的に定義することは難しいが，現在，マイアの提唱した生物学的種概念が最も広く使われている。ここでいう種とは，(a)ほかの種とは交配が起こらず，また遺伝子が交流しないしくみをもっている自然集団を指している。

キイロショウジョウバエ(以下キイロと表記)と極めて近縁である種にオナジショウジョウバエ(以下オナジと表記)がいる。キイロとオナジは共に人家環境に適応し世界中に生息域を広げている種である。両種は自然界においても交配を行い，雑種を形成することもあるが，雑種には生殖能力がなく，一代限りで絶えてしまう。このことから，キイロとオナジは異なる種であると判断できる。

両種の系統類縁関係を明らかにするために，分子生物学をはじめとする様々な研究がこれまでに行われている。それらの研究により，(b)キイロが祖先種(古い種)であり，そこから種分化によって派生種(新しい種)のオナジが生じたと考えられている。

この考えは，1979年に渡辺・河西により発表された，ショウジョウバエの近縁種間における交配成功率と種分化の方向に関する研究結果からも支持されている。キイロとオナジの間で雌雄を入れ替えた交配(正逆交配)を行った場合，どちらの種を雄にするか雌にするかで，交配成功率が極端に異なる(表1)。(c)渡辺・河西はこの交配成功率の違いが種分化の方向を示しているとし，キイロからオナジが生じたと結論づけている。

表 1

交配	交配成功率
オナジ♀×キイロ♂	2.4%
キイロ♀×オナジ♂	39.6%

（♀：雌，♂：雄）

〔3〕 下線部(a)に関連して，同一地域に生息する集団内に，繁殖時期や生殖器官の構造を異にするような変異が生じ，変異個体と他個体との間で子孫が残せなくなる状態を何とよぶか。

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

〔４〕　下線部(b)および(c)に関連して，交配成功率と種分化の方向との関係性について，正しく説明した記述はどれか。下の選択肢の中から１つ選べ。

①　派生種を雄としたときの交配成功率は,祖先種を雄としたときのそれよりも低い。

②　祖先種を雌としたときの交配成功率は,派生種を雌としたときのそれよりも高い。

③　祖先種を雌としたときの交配成功率は,派生種を雌としたときのそれよりも低い。

④　正逆交配での交配成功率の合計が50％以下であれば，より交配成功率の高い組み合わせの雄が祖先種である。

⑤　正逆交配での交配成功率の合計が50％以下であれば，より交配成功率の低い組み合わせの雌が祖先種である。

ⒸRECRUIT HOLDINGS

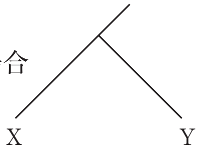
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

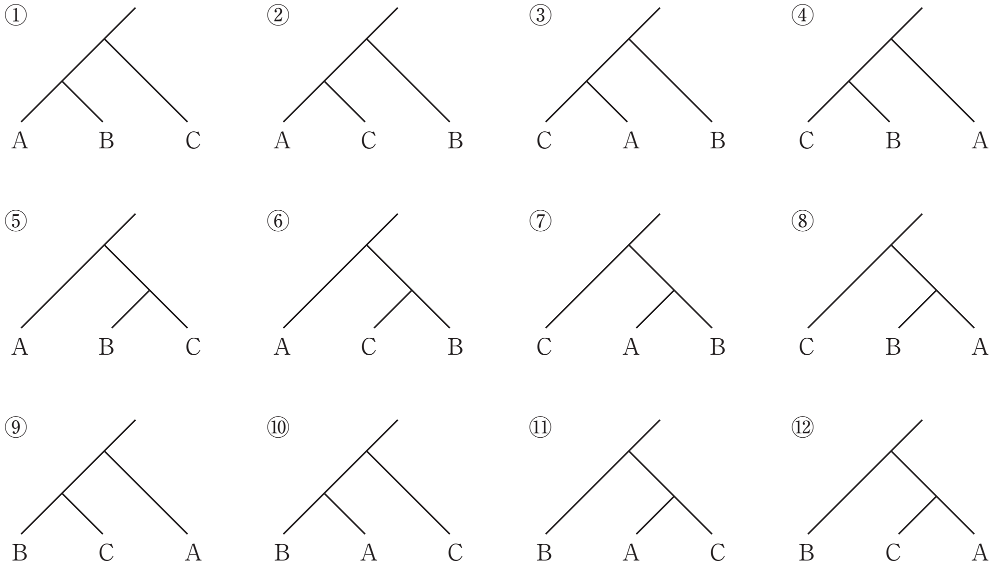
〔5〕 互いに極めて近縁なショウジョウバエA，B，C種について，この3種間の正逆交配の結果は表2の通りであった。渡辺・河西の考えにもとづいて作成された3種の系統樹として最も適当なものを，次の系統樹の描きかたを参考にして，下の選択肢の中から選べ。なお，交配成功率の平均値が高い種どうしほど，より近縁であるものとする。

表2

交配	交配成功率	交配成功率の平均値
B♀×A♂	5.0%	25.0%
A♀×B♂	45.0%	
C♀×A♂	0%	19.0%
A♀×C♂	38.0%	
C♀×B♂	8.0%	53.5%
B♀×C♂	99.0%	

〔系統樹の描きかた〕 Xが祖先種で，Yが派生種の場合





ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第10講

【1】

問1　(1)　A：0.7　a：0.3　(2)　0%　(3)　0.09%

問2　25%

問3　③

問4　②

問5　①

問6　②

【2】

問1　(a)　④　(c)　③

問2　②　④

問3　②

問4　あ　⑦　う　④

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第10講　確認テスト

（文1）

〔1〕 あ　属名　い　種小名　う　二名法　え　リンネ　お　界
か　門　き　綱　く　目

〔2〕 ④

（文2）

〔3〕 生殖的隔離　〔4〕 ②　〔5〕 ⑥

【解説】

〔1〕 生物の分類は種を単位とする。ある生物種を指し示す世界共通の名称は学名と呼ばれ，二名法に従ってつけられている。二名法は，スウェーデンのリンネによって確立され，生物種を，種が所属する属名とそれに続く種小名で表現する。系統関係の近い種の集まりは属，系統関係の近い属の集まりは科とよばれるグループにまとめられ，さらに上位の階層は，目，綱，門，界とまとめられる。例えば，ヒトの場合は，動物界脊椎動物門哺乳綱霊長目ヒト科ヒト属ヒトとなる。ここで用いた“ヒト”とは和名であり，ヒトの学名は，*Homo sapiens*となる。

〔2〕 動物の発生過程では，胞胚期に続く原腸胚期に陥入が起こり，胚を貫く原腸が形成される。原腸は将来の消化管となるが，三胚葉動物は，陥入の開始点である原口が肛門になる新口動物と，原口が口になる旧口動物に大別される。旧口動物にはショウジョウバエを含む節足動物や環形動物，軟体動物などが含まれる。内臓が収まっている体内の空所である体腔には，中胚葉による裏打ちのない偽体腔と中胚葉で裏打ちされた真体腔がある。真体腔は，中胚葉の内部に新しくできる空洞に由来する。偽体腔をもつ動物群には線形動物や輪形動物が，真体腔をもつ動物群には環形動物，軟体動物，節足動物，棘皮動物，原索動物，脊椎動物などが含まれる。

〔3〕 同一地域に生息する集団内に，繁殖時期や生殖器官の構造を異にするような変異が生じ，変異個体と他個体との間で子孫が残せなくなる状態を，生殖的隔離と呼ぶ。2つの集団が地理的に離れることで交配が起こらなくなる地理的隔離と区別したい。

〔4〕 表1の結果から，祖先型のキイロを雌親にした場合の方が，交配成功率が高いことが分かる。②が正しい。④について，より交配確率の高い組み合わせの雄は派生種のオナジである。⑤についても，表1の結果では，正逆交配での交配成功率の合計は，39.6＋2.4＝42％と50％以下である。だが，より交配成功率の低い交配における雌は，派生種のオナジであり，矛盾する。

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

〔5〕 成功率が高い交配において雌であった種が，祖先種であると考えられる。A×Bでは，A♀×B♂の交配成功率が高く，Aが祖先種であると考えられる。A×Cでは，A♀×C♂の交配成功率が高く，Aが祖先種であると考えられる。B×Cでは，B♀×C♂の交配成功率が高く，Bが祖先種であると考えられる。以上を満たす系統樹は，⑥が妥当である。分岐点において，直線につながる方が祖先型であることに注意したい。

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。